

# Document made available under the Patent Cooperation Treaty (PCT)

International application number: PCT/JP2005/014010

International filing date: 01 August 2005 (01.08.2005)

Document type: Certified copy of priority document

Document details: Country/Office: JP  
Number: 2004-260193  
Filing date: 07 September 2004 (07.09.2004)

Date of receipt at the International Bureau: 29 September 2005 (29.09.2005)

Remark: Priority document submitted or transmitted to the International Bureau in compliance with Rule 17.1(a) or (b)



World Intellectual Property Organization (WIPO) - Geneva, Switzerland  
Organisation Mondiale de la Propriété Intellectuelle (OMPI) - Genève, Suisse

日 本 国 特 許 庁  
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日  
Date of Application: 2004年 9月 7日

出 願 番 号  
Application Number: 特願2004-260193

パリ条約による外国への出願  
に用いる優先権の主張の基礎  
となる出願の国コードと出願  
番号

J P 2004-260193

The country code and number  
of your priority application,  
to be used for filing abroad  
under the Paris Convention, is

出 願 人  
Applicant(s): 日本電信電話株式会社

2005年 9月 7日

特許庁長官  
Commissioner,  
Japan Patent Office.

中 嶋



【書類名】 特許願  
【整理番号】 NTTH165909  
【提出日】 平成16年 9月 7日  
【あて先】 特許庁長官 殿  
【国際特許分類】 G02B 6/12  
【発明者】  
    【住所又は居所】 東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日本電信電話株式会社内  
    【氏名】 坂巻 陽平  
【発明者】  
    【住所又は居所】 東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日本電信電話株式会社内  
    【氏名】 才田 隆志  
【発明者】  
    【住所又は居所】 東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日本電信電話株式会社内  
    【氏名】 橋本 俊和  
【発明者】  
    【住所又は居所】 東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日本電信電話株式会社内  
    【氏名】 柳澤 雅弘  
【発明者】  
    【住所又は居所】 東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日本電信電話株式会社内  
    【氏名】 高橋 浩  
【特許出願人】  
    【識別番号】 000004226  
    【氏名又は名称】 日本電信電話株式会社  
【代理人】  
    【識別番号】 100077481  
    【弁理士】  
    【氏名又は名称】 谷 義一  
【選任した代理人】  
    【識別番号】 100088915  
    【弁理士】  
    【氏名又は名称】 阿部 和夫  
【手数料の表示】  
    【予納台帳番号】 013424  
    【納付金額】 16,000円  
【提出物件の目録】  
    【物件名】 特許請求の範囲 1  
    【物件名】 明細書 1  
    【物件名】 図面 1  
    【物件名】 要約書 1  
    【包括委任状番号】 9701393

【書類名】 特許請求の範囲

【請求項 1】

基板上に形成されたコアとクラッドからなる 2 つ以上の光導波路が交差する交差形光導波路を含む光回路であって、

信号光を入力する 2 つ以上の入力光導波路と、

入力された前記信号光の一部を高次モード又は放射モードに結合するモード結合手段と

前記モード結合手段により前記高次モード又は放射モードに結合された前記信号光を出力信号光に再結合するモード再結合手段と、

前記出力信号光を出力させる 2 つ以上の出力光導波路と、

前記入力導波路から前記出力導波路に向けて直線的に延びる 2 つの仮想光導波路又は前記出力導波路から前記入力導波路に向けて直線的に延びる 2 つの仮想光導波路が重なり合う部分である光導波路交差部とを備え、

前記モード結合手段及び前記モード再結合手段は、コアの幅が連続的に変動する光導波路であり、

前記光導波路交差部は、当該光導波路交差部の前記入力光導波路側の端と当該光導波路交差部の中心部との間の位置における光導波路のコアの幅が、当該光導波路交差部の前記入力光導波路側の端の光導波路のコアの幅及び当該光導波路交差部の中心部における光導波路のコアの幅より大きく、当該光導波路交差部の中心部と当該光導波路交差部の前記出力光導波路側の端との間の位置における光導波路のコアの幅が、当該導波路交差部の中心部における光導波路のコアの幅及び当該光導波路交差部の前記出力光導波路側の端における光導波路のコアの幅より大きいことを特徴とする光回路。

【請求項 2】

前記光導波路のコアの幅の変動が、信号光伝搬方向の単位長さ（ $1\ \mu\text{m}$ ）当たり  $\pm 8.0\ \mu\text{m}$  以内であることを特徴とする請求項 1 に記載の光回路。

【請求項 3】

前記光導波路のコアの幅の変動が、信号光伝搬方向の単位長さ（ $1\ \mu\text{m}$ ）当たり  $\pm 4.0\ \mu\text{m}$  以内であることを特徴とする請求項 1 に記載の光回路。

【請求項 4】

前記モード結合手段及び前記モード再結合手段は、コアの幅が部分的に 0 となる光導波路であることを特徴とする請求項 1 乃至 3 のいずれかに記載の光回路。

【請求項 5】

前記入力導波路から前記出力導波路に向けて直線的に延びる仮想光導波路と前記出力導波路から前記入力導波路に向けて直線的に延びる仮想光導波路との交差角は、 $30^\circ$  以下または  $150^\circ$  以上であることを特徴とする請求項 1 乃至 4 のいずれかに記載の光回路。

【請求項 6】

前記基板がシリコン基板であり、前記光導波路が石英系ガラス光導波路であることを特徴とする請求項 1 乃至 5 のいずれかに記載の光回路。

【書類名】 明細書

【発明の名称】 光回路

【技術分野】

【0001】

本発明は基板上に形成されたコアとクラッドからなる2本以上の光導波路が交差する交差形光導波路を含む光回路に関する。

【背景技術】

【0002】

交差形光導波路は、光回路における基本構成要素の一つとして必要不可欠なものである。従来の交差形光導波路を備えた光回路の構成を図6に示す。図6に示す光回路60は、2つの入力光導波路61、2つの出力光導波路64、及び2つの入力導波路61と2つの出力導波路64とをそれぞれ結ぶ導波路の重なり部分である光導波路交差部65を備える。光デバイスの小型化を図るためには入力光導波路61と出力光導波路64の交差角66を小さくする必要があるが、交差角66を小さくするに従い光導波路交差部65における光結合損失が増加し、クロストーク特性が低くなるという問題が生じていた。

【0003】

光導波路交差部の光導波路の幅を光導波路交差部以外の光導波路の幅より小さくすることで光導波路交差部におけるスポットサイズを光導波路交差部以外の光導波路におけるスポットサイズより大きくすることにより、光導波路交差部における光結合損失を低減した交差形光導波路が知られている（例えば、特許文献1参照）。しかしながら、このような交差形光導波路の構造においても交差角が $30^\circ$ より小さい場合には十分な光結合損失の低減効果が得られないという課題があった。

【0004】

【特許文献1】 特開平5-60929号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

従来の交差形光導波路を含む光回路には、光導波路交差部における光結合損失が大きいという課題があった。

【0006】

本発明は、このような問題に鑑みてなされたもので、その目的とするところは、低損失でクロストーク特性の高い交差形光導波路を含む光回路を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0007】

本発明は、このような目的を達成するために、請求項1に記載の発明は、基板上に形成されたコアとクラッドからなる2つ以上の光導波路が交差する交差形光導波路を含む光回路であって、信号光を入力する2つ以上の入力光導波路と、入力された前記信号光の一部を高次モード又は放射モードに結合するモード結合手段と、前記モード結合手段により前記高次モード又は放射モードに結合された前記信号光を出力信号光に再結合するモード再結合手段と、前記出力信号光を出力させる2つ以上の出力光導波路と、前記入力導波路から前記出力導波路に向けて直線的に延びる2つの仮想光導波路又は前記出力導波路から前記入力導波路に向けて直線的に延びる2つの仮想光導波路が重なり合う部分である光導波路交差部とを備え、前記モード結合手段及び前記モード再結合手段は、コアの幅が連続的に変動する光導波路であり、前記光導波路交差部は、当該光導波路交差部の前記入力光導波路側の端と当該光導波路交差部の中心部との間の位置における光導波路のコアの幅が、当該光導波路交差部の前記入力光導波路側の端の光導波路のコアの幅及び当該光導波路交差部の中心部における光導波路のコアの幅より大きく、当該光導波路交差部の中心部と当該光導波路交差部の前記出力光導波路側の端との間の位置における光導波路のコアの幅が、当該導波路交差部の中心部における光導波路のコアの幅及び当該光導波路交差部の前記出力光導波路側の端における光導波路のコアの幅より大きいことを特徴とする。このような



構成とすることで、光導波路交差部における光結合損失が小さく、クロストーク特性が良好な光回路を提供することができる。

【0008】

請求項2に記載の発明は、請求項1に記載の光回路であって、前記光導波路のコアの幅の変動が、信号光伝搬方向の単位長さ（1  $\mu\text{m}$ ）当たり $\pm 8.0 \mu\text{m}$ 以内であることを特徴とする。

【0009】

請求項3に記載の発明は、請求項1に記載の光回路であって、前記光導波路のコアの幅の変動が、信号光伝搬方向の単位長さ（1  $\mu\text{m}$ ）当たり $\pm 4.0 \mu\text{m}$ 以内であることを特徴とする。

【0010】

このような構成とすることで、既存の光回路作製プロセスで作製することが可能で、光導波路交差部における光結合損失が小さく、クロストーク特性が良好な光回路を提供することができる。

【0011】

請求項4に記載の発明は、請求項1乃至3のいずれかに記載の光回路であって、前記モード結合手段及び前記モード再結合手段は、コアの幅が部分的に0となる光導波路であることを特徴とする。このような構成とすることで、光導波路交差部における光結合損失が小さく、クロストーク特性が良好な光回路を提供することができる。

【0012】

請求項5に記載の発明は、請求項1乃至4のいずれかに記載の光回路であって、前記入力導波路から前記出力導波路に向けて直線的に延びる仮想光導波路と前記出力導波路から前記入力導波路に向けて直線的に延びる仮想光導波路との交差角は、 $30^\circ$ 以下または $150^\circ$ 以上であることを特徴とする。このような構成とすることで、光デバイスの小型化を可能にする光回路を提供することができる。

【0013】

請求項6に記載の発明は、請求項1乃至5のいずれかに記載の光回路であって、前記基板がシリコン基板であり、前記光導波路が石英系ガラス光導波路であることを特徴とする。このような構成とすることで、安定で加工性に優れた光回路を提供することができる。

【発明の効果】

【0014】

以上説明したように、本発明によれば低損失でクロストーク特性の高い交差形光導波路を含む光回路を提供できる利点がある。

【発明を実施するための最良の形態】

【0015】

以下、本発明の実施形態を図面に基づいて詳細に説明する。尚、本実施形態において、同一機能を有する部分には同一符号を付し、その重複説明は省略する。さらに、以下の実施形態の光回路はシリコン基板上に形成された石英系ガラス光導波路であるとした。これは、このような組み合わせにすると、安定で加工性に優れた光回路を提供できるからである。しかしながら、本発明はこの組み合わせに限定されるものではなく、半導体光導波路、ポリマー光導波路など、これ以外の半導体基板、プラスチック基板やガラス膜を用いても勿論構わない。

【0016】

（第一の実施形態）

図1乃至図5を参照して本発明の第一の実施形態を説明する。

図1は、本発明の第一の実施形態に係る光回路を基板に対して垂直方向から見た平面図である。図1に示すように、本実施形態に係る光回路10は、信号光を入力する2つの入力光導波路11、入力光導波路11に入力された信号光の一部を高次モード又は放射モードに結合させるモード結合手段12、モード結合手段12において光学的高次モード又は放射モードに結合された信号光を、位相を考慮して出力信号光に再結合させるモード再結

合手段 13、モード再結合手段 13 において光学的に再結合された出力信号光を出力させる 2 つの出力光導波路 14、及び入力導波路 11 から出力導波路 14 に向けて直線的に延びる 2 つの仮想光導波路 11' 又は出力導波路 14 から入力導波路 11 に向けて直線的に延びる 2 つの仮想光導波路 14' が重なり合う光導波路交差部 15 を備える。

#### 【0017】

図 1 に示す光回路 10 において、モード結合手段 12、モード再結合手段 13、および光導波路交差部 15 の位置は、これに限られるものではなく、それぞれが重なり合わないよう構成することもできる。さらに、コアの幅が変動しない光導波路を介在させることもできる。

#### 【0018】

図 1 及び図 2 において、 $z$  軸は信号光の伝搬方向を示している。また、 $w_1, w_2, w_3, w_4, w_5$  は、図に示した  $z$  軸上の座標  $z_1, z_2, z_3, z_4, z_5$  ( $z_1 < z_2 < z_3 < z_4 < z_5$ ) における光導波路のコアの幅をそれぞれ示している。座標  $z_1$  は、光導波路交差部 15 の入力導波路 11 の端に対応する。座標  $z_5$  は、光導波路交差部 15 の出力導波路 14 の端に対応する。座標  $z_3$  は、光導波路交差部 15 の略中心に対応する。また、本実施形態における、交差角 16 は、仮想光導波路 11' と 14' の交差角をいう。

#### 【0019】

次に、図 1 に示すモード結合手段 12 及びモード再結合手段 13 における変動する光導波路コア幅の設計方法について説明する。変動する光導波路のコア幅は波動伝達媒体の基本概念を適用して決定する。ここでは、光回路へ適用することから、波動伝達媒体中を伝搬する「波動」は「光」である。波動伝達媒体に係る理論は一般の波動方程式に基づいて媒質の特性を指定するものであり、一般の波動においても原理的に成り立ち得るものである。

#### 【0020】

変動する光導波路のコア幅の設計方法を説明するためには記号を用いる方が利便性がよいので、各量を表すために以下のような記号を用いることとする。尚、対象とされる光（フィールド）は、単一状態の光には限定されないで、複数の状態の光が重畳された光を対象とされ得るべく、個々の状態の光にインデックス  $j$  を充てて一般的に表記する。以下の説明において、光の伝搬方向の座標軸を  $z$  軸（ $z=0$  が入射面、 $z=z_e$  が出射面）、光の伝搬方向に対する横方向の座標軸を  $x$  軸とする。

$\Psi^j(x)$  :  $j$  番目の入射フィールド（複素ベクトル値関数であり、入射面において設定する強度分布及び位相の分布、ならびに、波長及び偏波により規定される。）

$\Phi^j(x)$  :  $j$  番目の出射フィールド（複素ベクトル値関数であり、出射面において設定する強度分布及び位相の分布、ならびに、波長及び偏波により規定される。）

#### 【0021】

尚、 $\Psi^j(x)$  及び  $\Phi^j(x)$  は、光回路中で強度増幅、波長変換、偏波変換が行われないう限り、光強度の総和は同じ（あるいは無視できる程度の損失）であり、それらの波長も偏波も同じである。

$\{\Psi^j(x), \Phi^j(x)\}$  : 入出力ペア（入出力のフィールドの組み。）

$\{\Psi^j(x), \Phi^j(x)\}$  は、入射面及び出射面における、強度分布及び位相分布ならびに波長及び偏波により規定される。

$\{n_q\}$  : 屈折率分布（光回路設計領域全体の値の組。）

#### 【0022】

与えられた入射フィールド及び出射フィールドに対して屈折率分布を 1 つ与えたときに光のフィールドが決まるので、 $q$  番目の繰り返し演算で与えられる屈折率全体に対するフィールドを考える必要がある。そこで、 $(x, z)$  を不定変数として、屈折率分布全体を  $n_q(x, z)$  と表しても良いが、場所  $(x, z)$  における屈折率の値  $n_q(x, z)$  と区別するために、屈折率分布全体に対しては  $\{n_q\}$  と表す。

#### 【0023】

$n_{core}$  : 光導波路におけるコア部分のような、周囲の屈折率に対して高い屈折率の値を示す記号。

$n_{clad}$  : 光導波路におけるクラッド部分のような、 $n_{core}$ に対して低い屈折率の値を示す記号。

$\Psi^j(z, x, \{n_q\})$  :  $j$  番目の入射フィールド  $\Psi^j(x)$  を屈折率分布  $\{n_q\}$  中を  $z$  まで伝搬させたときの、場所  $(x, z)$  におけるフィールドの値。

$\Phi^j(z, x, \{n_q\})$  :  $j$  番目の出射フィールド  $\Phi^j(x)$  を屈折率分布  $\{n_q\}$  中を  $z$  まで逆伝搬させたときの、場所  $(x, z)$  におけるフィールドの値。

#### 【0024】

本実施形態において、光導波路のコア幅は、すべての  $j$  について  $\Psi^j(z_e, x, \{n_q\}) = \Phi^j(x)$ 、又はそれに近い状態となるように  $\{n_q\}$  が与えられる。「入力ポート」及び「出力ポート」とは、入射端面及び出射端面におけるフィールドの集中した「領域」であり、例えば、その部分に光ファイバを接続することにより、光強度をファイバに伝搬できるような領域である。ここで、フィールドの強度分布及び位相分布は、 $j$  番目のものと  $k$  番目のものとで異なるように設計可能であるので、入射端面及び出射端面に複数のポートを設けることができる。

#### 【0025】

さらに、入射フィールドと出射フィールドの組を考えた場合、その間の伝搬により発生する位相が、光の周波数によって異なるので、周波数が異なる光（すなわち波長の異なる光）については、位相を含めたフィールド形状が同じであるか直交しているかの如何にかかわらず、異なるポートとして設定することができる。ここで、電磁界は、実数ベクトル値の場で、かつ波長と偏光状態をパラメータとして有するが、その成分の値を一般的な数学的取り扱いが容易な複素数で表示し、電磁波の解を表記する。

#### 【0026】

また、以下の計算においては、フィールド全体の強度は 1 に規格化されているものとする。 $j$  番目の入射フィールド  $\Psi^j(x)$  及び出射フィールド  $\Phi^j(x)$  に対し、伝搬フィールドと逆伝搬フィールドとをそれぞれの場所の複素ベクトル値関数として、 $\Psi^j(z, x, \{n\})$  及び  $\Phi^j(z, x, \{n\})$  と表記する。これらの関数の値は、屈折率分布  $\{n\}$  により変化するため、屈折率分布  $\{n\}$  がパラメータとなる。

#### 【0027】

記号の定義により、 $\Psi^j(x) = \Psi^j(0, x, \{n\})$ 、及び、 $\Phi^j(x) = \Phi^j(z_e, x, \{n\})$  となる。これらの関数の値は、入射フィールド  $\Psi^j(x)$ 、出射フィールド  $\Phi^j(x)$ 、及び屈折率分布  $\{n\}$  が与えられれば、ビーム伝搬法などの公知の手法により容易に計算することができる。

#### 【0028】

以下に、空間的な屈折率分布を決定するためのアルゴリズムを説明する。図 5 に波動伝達媒体の空間的な屈折率分布を決定するための計算手順を示す。この計算は、繰り返し実行されるので、繰り返し回数を  $q$  で表し、 $(q-1)$  番目までの計算が実行されているときの  $q$  番目の計算の様子が図示されている。

#### 【0029】

$(q-1)$  番目の計算によって得られた屈折率分布  $\{n_{q-1}\}$  をもとに、各  $j$  番目の入射フィールド  $\Psi^j(x)$  及び出射フィールド  $\Phi^j(x)$  について、伝搬フィールドと逆伝搬フィールドとを数値計算により求め、その結果を各々、 $\Psi^j(z, x, \{n_{q-1}\})$  及び  $\Phi^j(z, x, \{n_{q-1}\})$  と表記する（ステップ S2）。これらの結果をもとに、各場所  $(z, x)$  における屈折率  $n_q(z, x)$  を、次式により求める（ステップ S4）。

#### 【0030】

##### 【数 1】

$$n_q(z, x) = n_{q-1} - \alpha \sum_j \text{Im}[\phi^j(z, x, \{n_{q-1}\}) * \psi^j(z, x, \{n_{q-1}\})] \quad \cdots (1)$$



### 【0031】

ここで、右辺第2項中の記号「 $\cdot$ 」は、内積演算を意味し、 $\text{Im}[]$ は、 $[]$ 内のフィールド内積演算結果の虚数部分を意味する。尚、記号「 $*$ 」は複素共役である。係数 $\alpha$ は、 $n_q(z, x)$ の数分の1以下の値をさらにフィールドの組の数で割った値である。 $\sum_j$ は、インデックス $j$ について和をとるという意味である。ステップS2とS4とを繰り返し、伝搬フィールドの出射面における値 $\Psi^j(z_e, x, \{n\})$ と出射フィールド $\Phi^j(x)$ との差の絶対値が、所望の誤差 $d_j$ よりも小さくなると（ステップS3：YES）計算が終了する。尚、ステップS1において、 $q \leftarrow (q+1)$ は、現在の $q$ の値に1を加算した値を新たな $q$ とすることを意味する。

### 【0032】

以上の計算では、屈折率分布の初期値 $\{n_0\}$ は適当に設定すればよいが、この初期値 $\{n_0\}$ が予想される屈折率分布に近ければ、それだけ計算の収束は早くなる（ステップS0）。また、各 $j$ について $\Phi^j(z, x, \{n_{q-1}\})$ 及び $\Psi^j(z, x, \{n_{q-1}\})$ を計算するにあたっては、パラレルに計算が可能な計算機の場合は、 $j$ ごと（すなわち、 $\Phi^j(z, x, \{n_{q-1}\})$ 及び $\Psi^j(z, x, \{n_{q-1}\})$ ごと）に計算すればよいので、クラスタシステム等を利用して計算の効率化を図ることができる（ステップS2）。また、比較的少ないメモリで計算機が構成されている場合は、式（1）のインデックス $j$ についての和の部分で、各 $q$ で適当な $j$ を選び、その分の $\Phi^j(z, x, \{n_{q-1}\})$ 及び $\Psi^j(z, x, \{n_{q-1}\})$ のみを計算して、以降の計算を繰り返すことも可能である（ステップS2）。以上の演算において、 $\Phi^j(z, x, \{n_{q-1}\})$ と $\Psi^j(z, x, \{n_{q-1}\})$ の値とが近い場合には、式（1）中の

### 【0033】

#### 【数2】

$$\text{Im}[\phi^j(z, x, \{n_{q-1}\}) * \psi^j(z, x, \{n_{q-1}\})]$$

### 【0034】

は位相差に対応する値となり、この値を減少させることで所望の出力を得ることが可能である。すなわち、光導波路のコア幅の決定に際しては、 $(q-1)$ 番目の計算結果の屈折率分布におけるコアとクラッドの境界面において

### 【0035】

#### 【数3】

$$\text{Im}[\phi^j(z, x, \{n_{q-1}\}) * \psi^j(z, x, \{n_{q-1}\})]$$

### 【0036】

の値が小さくなるようにコア幅を拡大もしくは縮小すれば良い。

### 【0037】

上述した光導波路のコア幅決定のための演算内容を要約すると次のようになる。入力光導波路11の入力ポートから入力された信号光のフィールドを、入力光導波路11側から出力光導波路14側へ伝搬させたフィールド（順伝搬光）を $\Psi$ 、出力光導波路14の所望の出力ポートから出力される所望の信号光のフィールドの位相を反転させたフィールドを出力光導波路14側から入力光導波路11側へ伝搬させたフィールド（逆伝搬光）を $\Phi^*$ とする。このとき、図1に示す $z$ 軸は各位置で順伝搬光 $\Psi$ と逆伝搬光 $\Phi^*$ の位相差が最小となるような屈折率分布を与えれば入力させた信号光を所望の出力信号光に変換するための最適な光回路を構成することができる。具体的には、図1に示す $z$ 軸の各位置で、コアとクラッドの境界面における順伝搬光と逆伝搬光の位相差 $(\Psi - \Phi^*)$ を計算する。コアとクラッドの境界面における順伝搬光と逆伝搬光の位相差が正である場合 $(\Psi - \Phi^* > 0)$ 、光導波路のコア幅を拡大することで $\Psi$ と $\Phi^*$ の位相差を最小化することが可能である。また、コアとクラッドの境界面における順伝搬光と逆伝搬光の位相差が負である場合 $(\Psi - \Phi^* < 0)$ 、光導波路のコア幅を縮小することで $\Psi$ と $\Phi^*$ の位相差を最小化することが可能である。このような設計方法に基づき、 $z$ 軸の各位置で順伝搬光 $\Psi$ と逆伝搬光 $\Phi^*$

の位相差が最小となるような光導波路幅をそれぞれ計算により求めることで、最適な光回路を構成することができる。

#### 【0038】

ここで、信号光伝搬方向に対して光導波路幅の変化が急峻である場合は、光回路の作製が困難になるという問題が生じる。従って、光導波路のコアの幅の変動は、連続的であり、なめらかであり、信号光の波長を考慮し、信号光伝搬方向の単位長さ（ $1\mu\text{m}$ ）当たり $\pm 8.0\mu\text{m}$ の範囲内であることが望ましい。さらに、 $\pm 4.0$ 以内に制限しても十分な効果が得られる。

#### 【0039】

次に、光導波路交差部15の設計について説明する。光導波路交差部15の光導波路のコアの幅は、光導波路交差部15の入力光導波路11側の端（ $z=z_1$ ）と光導波路交差部15の中心部（ $z=z_3$ ）との間の位置（ $z=z_2$ ）における光導波路のコアの幅 $w_2$ が、光導波路交差部15の入力光導波路11側の端（ $z=z_1$ ）における光導波路のコアの幅 $w_1$ 及び光導波路交差部15の中心部（ $z=z_3$ ）における光導波路のコアの幅 $w_3$ より大きく（すなわち、 $w_1 < w_2$ かつ $w_2 > w_3$ ）、光導波路交差部15の中心部（ $z=z_3$ ）と光導波路交差部15の出力光導波路14側の端（ $z=z_5$ ）との間の位置（ $z=z_4$ ）における光導波路のコアの幅 $w_4$ が導波路交差部15の中心部（ $z=z_3$ ）における光導波路のコアの幅 $w_3$ 及び光導波路交差部15の出力光導波路14側の端（ $z=z_5$ ）における光導波路のコアの幅 $w_5$ より大きく（すなわち、 $w_3 < w_4$ かつ $w_4 > w_5$ ）構成されている。

#### 【0040】

このような構成とすることにより、光導波路交差部15を伝搬する信号光の高次モード又は放射モードが所望の出力ポート以外の出力光導波路14から出力されることを避ける効果が生じ、交差部におけるクロストーク特性を大きく改善することができる。

#### 【0041】

図1に示す光回路は、次のような手順により作製することができる。まずSi基板上に火炎堆積法などによって $\text{SiO}_2$ 下部クラッド層を堆積し、次に $\text{GeO}_2$ をドーパントとして添加した $\text{SiO}_2$ ガラスのコア層を堆積する。次に、前記設計に基づく図1に示すようなパターンを用いてコア層をエッチングして光導波路部分を作製する。最後に、再び $\text{SiO}_2$ 上部クラッド層を堆積する。

#### 【0042】

図1に示す光回路は、光導波路のコアの幅の変動幅の上限を、信号光伝搬方向の単位長さ（ $1\mu\text{m}$ ）当たり $\pm 4.0\mu\text{m}$ として設計したものである。入力導波路及び出力導波路のコアの幅は $7\mu\text{m}$ である。光回路内の導波路のコアの厚さは $6\mu\text{m}$ である。

#### 【0043】

モード結合手段12及びモード再結合手段13のz軸方向の長さは、 $100\mu\text{m}$ オーダーである。ただし、モード結合手段12及びモード再結合手段13のz軸方向の長さは、交差角16に依存するため、厳密に定まるものではない。

#### 【0044】

図2に示す光回路は、本実施形態に係る別の光回路のものであって、光導波路のコアの幅の変動幅の上限を、信号光伝搬方向の単位長さ（ $1\mu\text{m}$ ）当たり $\pm 8.0\mu\text{m}$ として設計した点で、図1に示す光回路と異なる。

#### 【0045】

尚、光導波路のコアの幅を変動させた場合に、コアの幅の変動に伴い導波路が部分的に消滅する箇所を含む場合がある。すなわち、本実施形態に係る光回路は、モード結合手段12及びモード再結合手段13が、コアの幅が部分的に0となる光導波路で構成される場合があり、このような構成であっても以下に説明する効果を得ることができる。

#### 【0046】

図3に、本発明の第一の実施形態に係る光回路及び従来例の交差形光導波路の信号光の伝搬損失の波長依存性をそれぞれ示す。本発明の第一の実施形態に係る光回路は、モード

結合手段及びモード再結合手段における光導波路のコアの幅の変動を信号光伝搬方向の単位長さ（ $1\mu\text{m}$ ）当たり $\pm 8.0\mu\text{m}$ の範囲内になるように制限して構成した場合の光回路における、信号光の伝搬損失の波長依存性である。尚、交差形光導波路の交差角は $10^\circ$ である。図3より、波長帯域 $1300\sim 1600\text{nm}$ において信号光の伝搬損失が $0.1\text{dB}$ 程度に低減されていることが分かる。

#### 【0047】

このように、設計で光導波路幅の変動を $1\mu\text{m}$ 当たり $\pm 8.0\mu\text{m}$ の範囲内になるように制限した場合でも、十分な光結合損失の低減効果が得られる。また、図3では交差角 $10^\circ$ の場合における結果を示しているが、交差角が小さいほど光結合損失の低減効果は大きくなる。

#### 【0048】

図4に、本発明の第一の実施形態に係る光回路及び従来例の交差形光導波路のクロストーク特性の波長依存性をそれぞれ示す。本発明の第一の実施形態に係る光回路は、モード結合手段及びモード再結合手段における光導波路のコアの幅の変動を信号光伝搬方向の単位長さ（ $1\mu\text{m}$ ）当たり $\pm 8.0\mu\text{m}$ の範囲内になるように制限して構成した場合の光回路における、交差形光導波路のクロストーク特性の波長依存性である。尚、交差形光導波路の交差角は $10^\circ$ である。

#### 【0049】

図4より、波長帯域 $1300\sim 1600\text{nm}$ においてクロストークが $45\sim 49\text{dB}$ 程度に改善されたことが分かる。このように、設計で光導波路幅の変動を $1\mu\text{m}$ 当たり $\pm 8.0$ の範囲内になるように制限した場合でも、十分に良好なクロストーク特性が得られる。また、図4では交差角 $10^\circ$ の場合における結果を示しているが、交差角が小さいほどクロストーク特性の向上に及ぼす効果は大きくなる。具体的には交差角が $3^\circ$ の場合でも、十分な光結合損失の低減効果が得られることを確認している。

#### 【0050】

さらに、本実施形態では、交差角が $90^\circ$ 以上の場合であっても、十分な光結合損失の低減効果を得ることができ。例えば、図1または図2において、交差角 $16$ を $150^\circ\sim 177^\circ$ （すなわち、交差角 $16$ の捕角を $3^\circ\sim 30^\circ$ ）とした場合であっても、交差角 $16$ を $3^\circ\sim 30^\circ$ とした場合と同様に、十分な光結合損失の低減効果を得ることができる。

#### 【0051】

以上説明したように、従来の交差形光導波路においては、交差角が $30^\circ$ 以下の場合、交差部における光結合損失が大きくクロストーク特性は低かったが、本発明を用いれば交差角が $30^\circ$ 以下の場合においても光結合損失を低減し、クロストーク特性を改善することができ、これに限定されるものではないが、例えば、交差角が $3\sim 30^\circ$ または $150^\circ\sim 177^\circ$ の範囲の交差型光導波路を有する光回路を提供することができる。

#### 【図面の簡単な説明】

#### 【0052】

【図1】第一の実施形態の光回路の構成を表す図である。

【図2】第一の実施形態の別の光回路の構成を表す図である。

【図3】第一の実施形態及び従来例の交差形光導波路の伝搬損失の波長依存性を示す図である。

【図4】第一の実施形態及び従来例の交差形光導波路のクロストーク特性の波長依存性を示す図である。

【図5】屈折率分布を決定するための計算手順を示すフローチャートである。

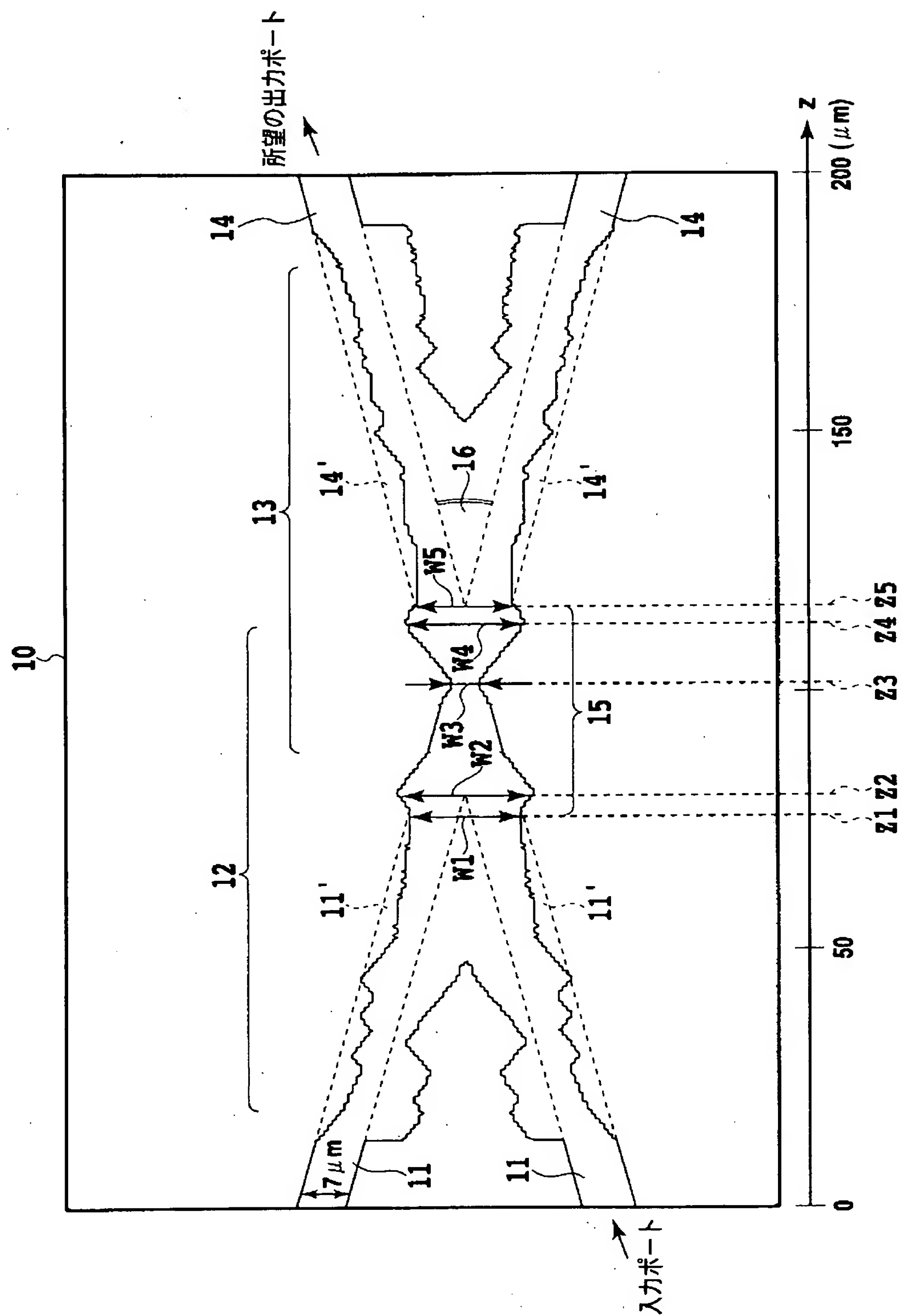
【図6】従来の交差形光導波路の構成を表す図である。

#### 【符号の説明】

#### 【0053】

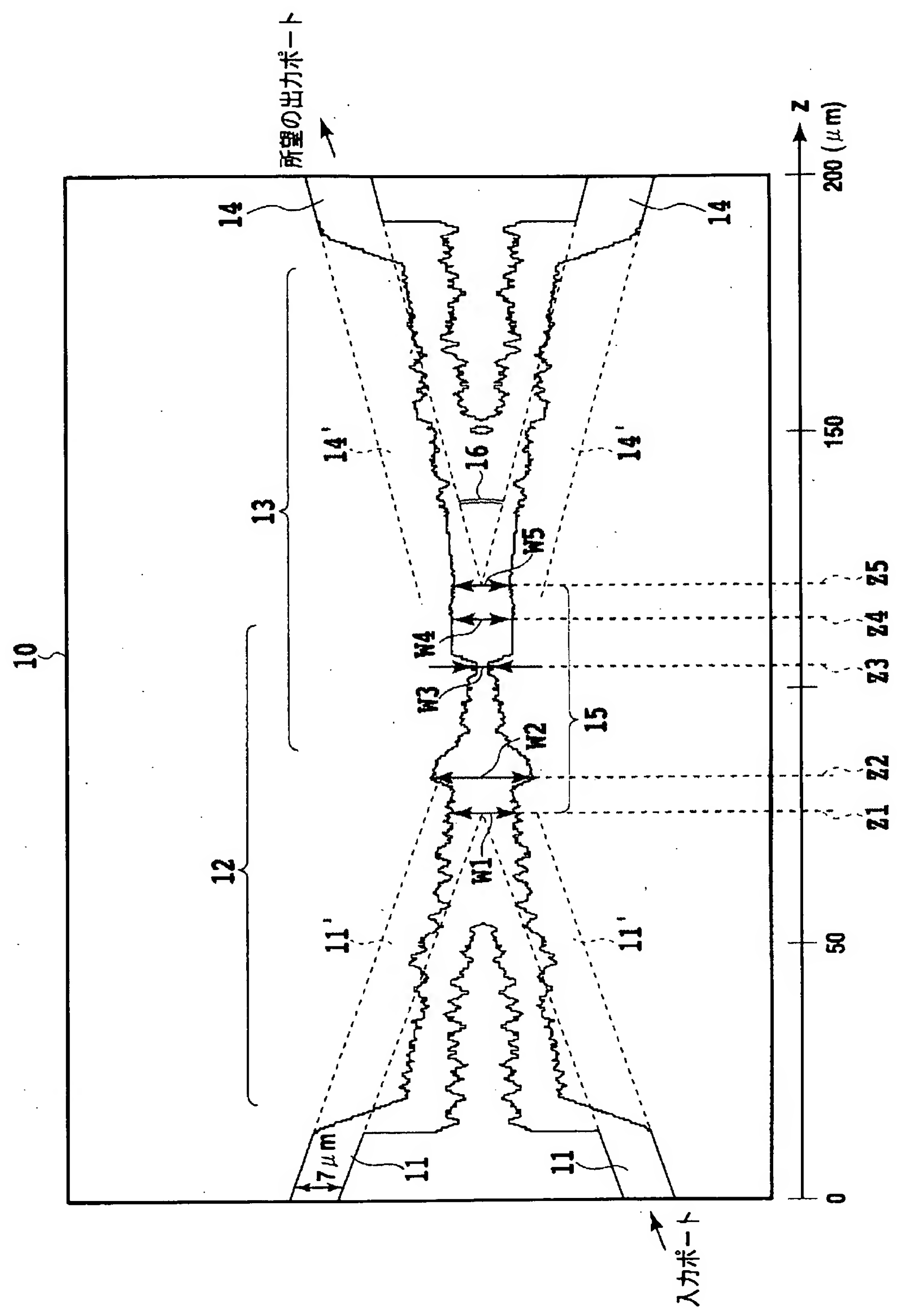
10,	60	光回路
11,	61	入力光導波路

1 1' , 1 4' 仮想光導波路  
1 2 モード結合手段  
1 3 モード再結合手段  
1 4 , 6 4 出力光導波路  
1 5 , 6 5 光導波路交差部  
1 6 , 6 6 交差角

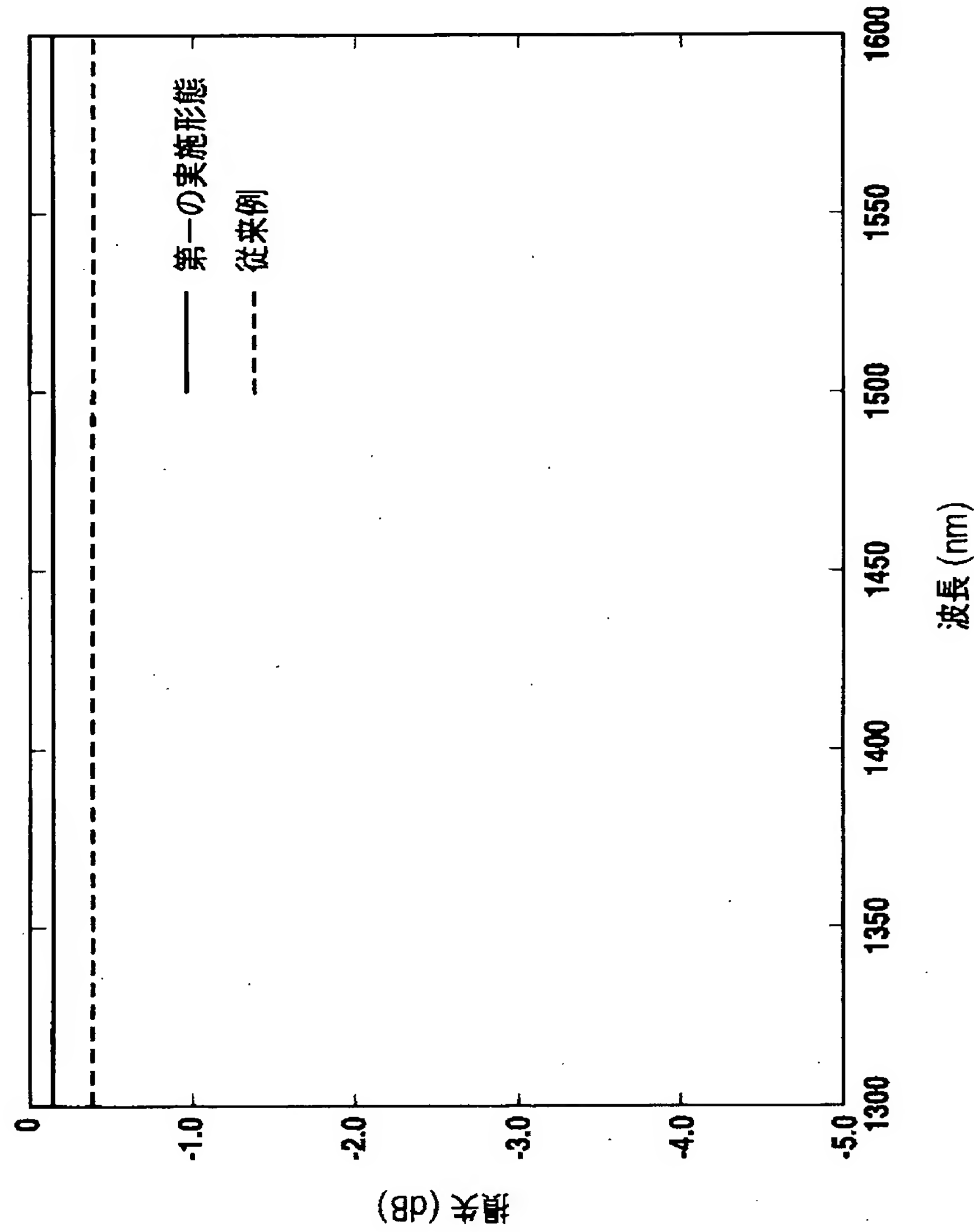




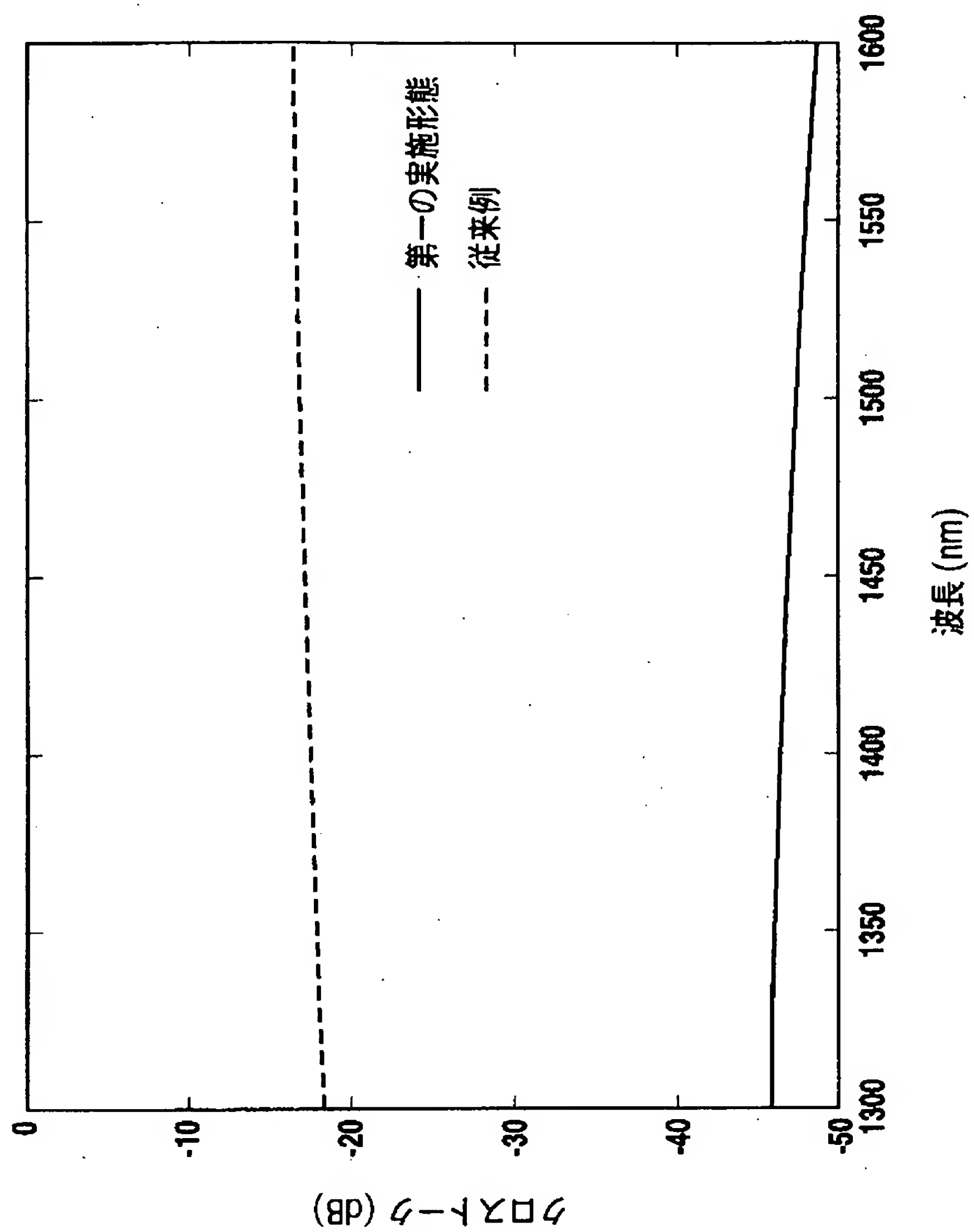
【図 2】



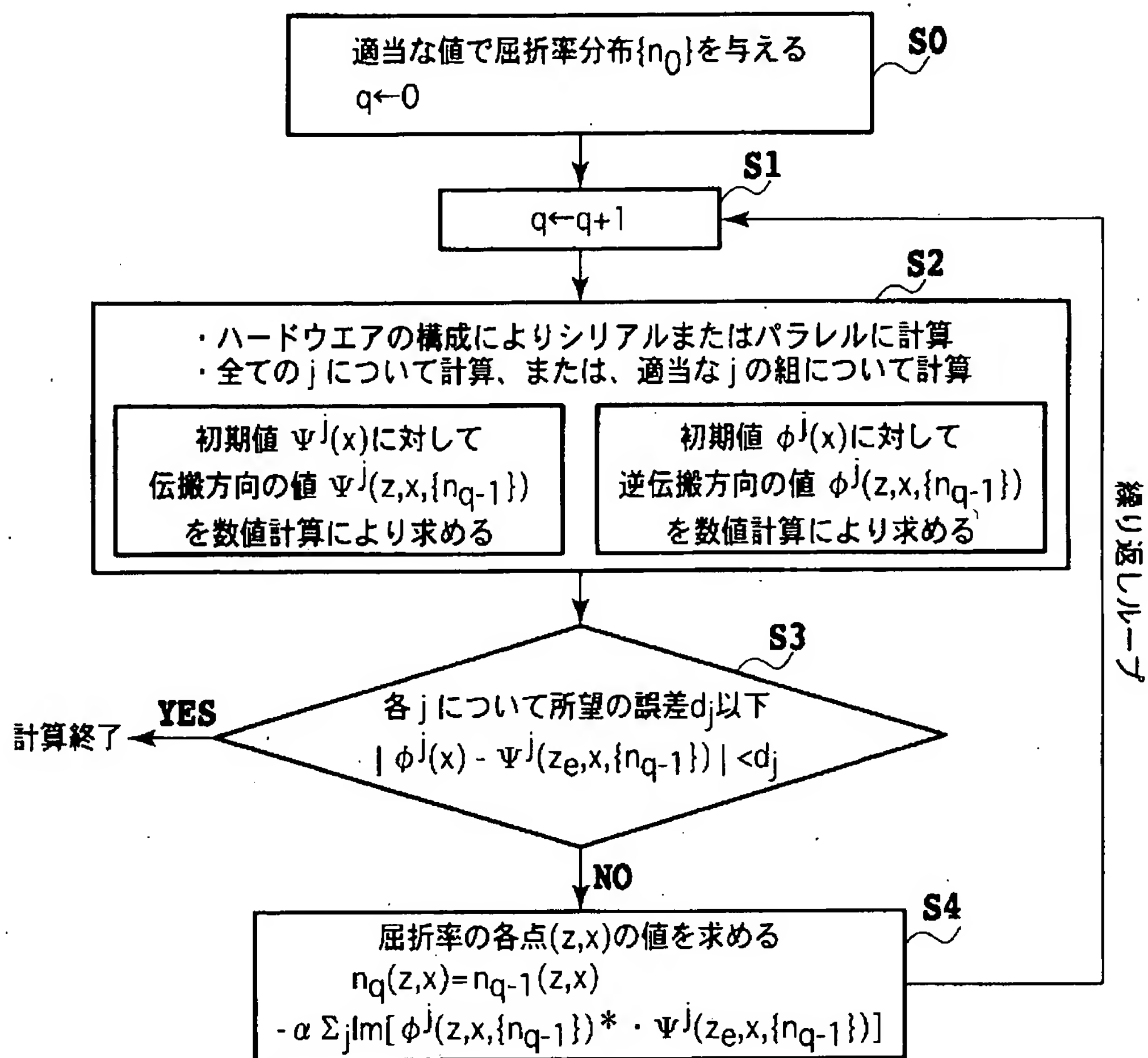
【図 3】



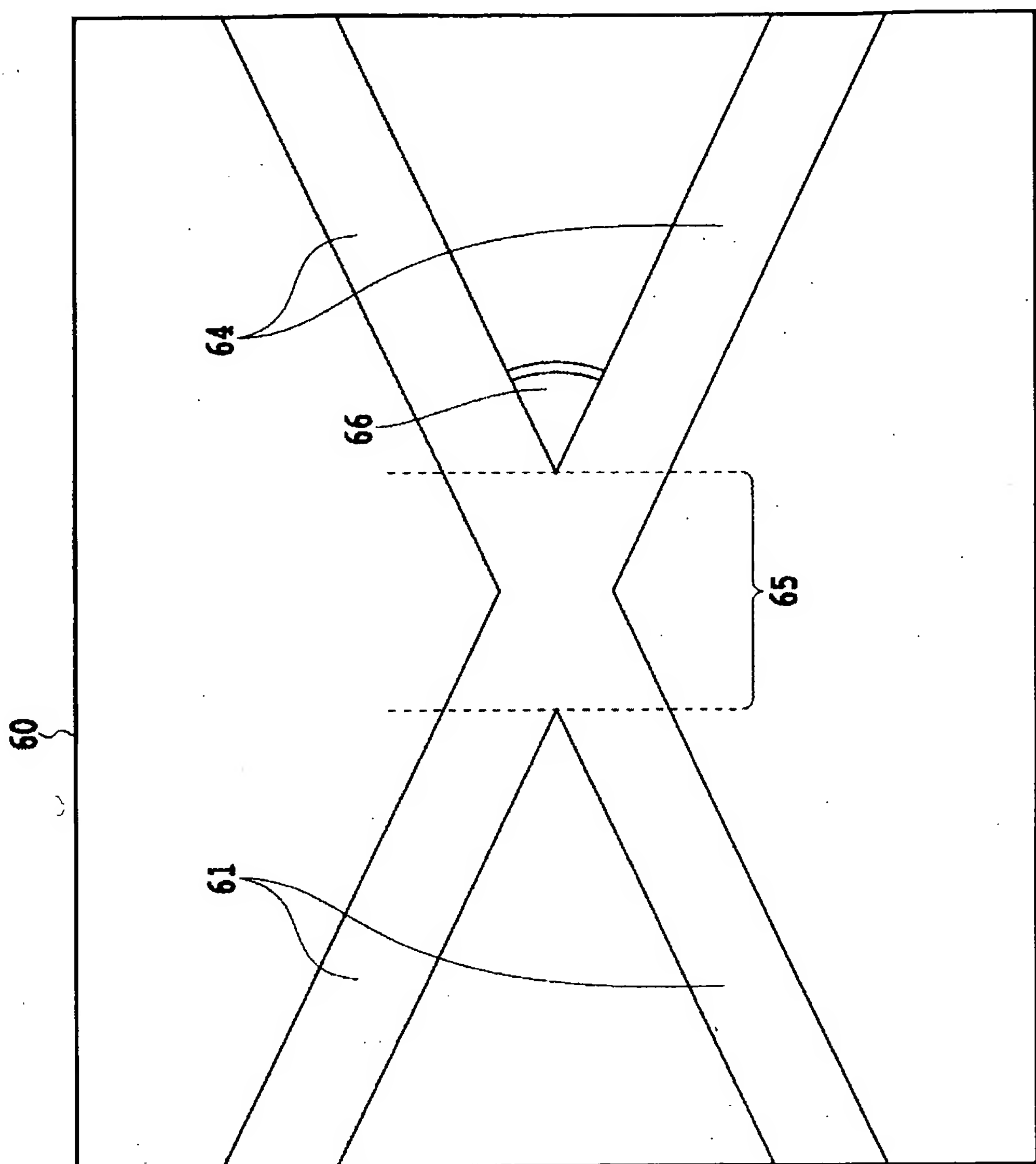
【図 4】



【図 5】



【图 6】





【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 低損失でクロストーク特性の高い交差形光導波路を含む光回路を提供する。

【解決手段】 信号光を入力する2つ以上の入力光導波路(11)と、入力された信号光の一部を高次モード又は放射モードに結合するモード結合手段(12)と、高次モード又は放射モードに結合された信号光を出力信号光に再結合するモード再結合手段(13)と、出力信号光を出力させる2つ以上の出力光導波路(14)と、光導波路交差部(15)とを備え、モード結合手段及びモード再結合手段は、コア幅が連続的に変動する光導波路であり、光導波路交差部は、入力光導波路側の端のコアの幅( $w_1$ )、入力光導波路側の端と中心部の間のコアの幅( $w_2$ )、中心部のコアの幅( $w_3$ )、中心部と出力光導波路側の端の間のコアの幅( $w_4$ )、および出力光導波路側の端のコアの幅( $w_5$ )は、 $w_1 < w_2$  かつ  $w_2 > w_3$ 、 $w_3 < w_4$  かつ  $w_4 > w_5$  として構成される。

【選択図】 図1

出願人履歴

0 0 0 0 0 4 2 2 6

19990715

住所変更

5 9 1 0 2 9 2 8 6

東京都千代田区大手町二丁目3番1号

日本電信電話株式会社